

Analisis Koordinasi Pengaman *Over Current Relay*, *Ground Fault Relay*, Dan *Recloser* Pada Penyulang Majenang 08 PT. PLN (Persero) Gardu Induk Majenang Cilacap

Tri Juniarto¹, Muhammad Taufiq Tamam²

Program Studi S1 Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Purwokerto

Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Muhammadiyah Purwokerto

Informasi Makalah

Dikirim, 21 Agustus 2019
Direvisi, 27 November 2019
Diterima, 16 Januari 2020

Kata Kunci:

Buck Converter
Lead Acid
Li-Ion
Mikrokontroler
Panel Surya

Keyword:

Buck Converter
Lead Acid
Li-Ion
Microcontroller
Solar Cell

INTISARI

Sistem distribusi tenaga listrik adalah sistem yang berguna untuk mendistribusikan tenaga listrik dari Gardu Induk ke konsumen, yang mana tidak terlepas dari masalah, diantaranya gangguan arus hubung singkat. Untuk melokalisasi gangguan tersebut diperlukan sistem proteksi yang memenuhi persyaratan sensitifitas, keandalan, selektifitas dan kecepatan. Penyulang MJN 08 memiliki panjang 32,950 km terdapat *over current relay* (OCR) dan *ground faulty relay* (GFR) yang berfungsi untuk memberi perintah kepada *Recloser* atau PMT. Pada penelitian gangguan arus hubung singkat dan koordinasi proteksi di penyulang MJN 08 dilakukan perhitungan manual dan simulasi menggunakan ETAP. Hasil perhitungan dan simulasi arus hubung singkat diketahui bahwa semakin jauh titik gangguan yang terjadi maka arus hubung singkat akan semakin kecil. Hasil perhitungan manual koordinasi proteksi waktu kerja relai arus hubung singkat 3 fasa adalah 0,301 detik – 0,534 detik dan pada simulasi dengan ETAP 0,303 detik – 0,532 detik, pada perhitungan manual arus hubung singkat 2 fasa 0,331 detik – 0,755 detik, dan simulasi ETAP 0,319 detik – 0,582 detik. Waktu kerja OCR sudah mendekati standar SPLN yaitu 0,35 detik – 0,4 detik, tetapi mempunyai selisih waktu lebih lambat 0,1 detik. Hasil perhitungan manual hubung singkat 1 fasa ke tanah 0,765 detik – 1,496 detik sedangkan pada simulasi ETAP adalah 0,706 detik – 1,243 detik. Dari hasil perhitungan dan simulasi nilai waktu kerja proteksi GFR belum sesuai dengan SPLN.

ABSTRACT

Electric power distribution system is a system that is useful for distributing electric power from substations to consumers, which are inseparable from problems, including short circuit current interference. To localize the interference, a protection system is needed that meets the requirements of sensitivity, reliability, selectivity and speed. MJN 08 feeders have a length of 32.950 km with over current relay (OCR) and ground faulty relay (GFR) that serve to give orders to *Reclosers* or PMT. In the study of short circuit current and protection coordination in MJN 08 feeders manual calculations and simulations using ETAP were performed. The results of calculations and simulations of short circuit currents are known that the farther the point of disturbance that occurs, the short circuit current will be smaller. The results of the protective coordination manual calculation of the 3 phase short circuit current relay work time are 0.301 seconds - 0.534 seconds and in the simulation with ETAP 0.303 seconds - 0.532 seconds, while the manual calculation of 2 phase short circuit current is 0.331 seconds - 0.755 seconds, and ETAP simulation is 0.319 seconds - 0.582 seconds. OCR working time is approaching the SPLN standard, which is 0.35 seconds - 0.4 seconds, but has a difference of 0.1 seconds slower. The results of manual 1-to-ground short circuit calculation are 0.765 seconds - 1.496 seconds while ETAP simulation is 0.706 seconds - 1.243 seconds. From the results of calculations and simulations the value of GFR protection work time is not in accordance with the SPLN.

Korespondensi Penulis:

Tri Juniarto

Program Studi S1 Teknik Elektro

Universitas Muhammadiyah Purwokerto

Jl Raya Dukuhwaluh, Purwokerto, 53182

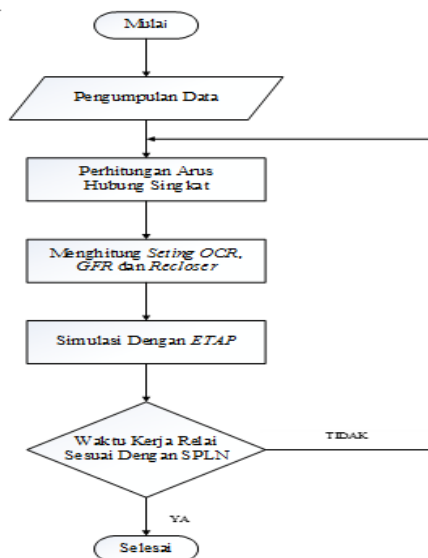
Email: trijuniarto098@gmail.com**1. PENDAHULUAN**

Dalam melaksanakan pembangkitan, penyalutan, dan distribusi tenaga listrik, gangguan tidak dapat dihindari. Gangguan kebanyakan merupakan gangguan hubung singkat antar fasa atau antar fasa dengan tanah dan keduanya. Gangguan hubung singkat semacam ini menimbulkan arus yang sangat besar yang dapat merusak peralatan sehingga diperlukan sistem proteksi untuk mengamankan peralatan tersebut. Sistem proteksi selain harus mengamankan peralatan instalasi terhadap gangguan, juga berfungsi melokalisasi gangguan. Apabila terjadi gangguan di suatu bagian instalasi, sistem proteksi hanya akan men-trip PMT yang berdekatan dengan gangguan sehingga intrupsi pasokan daya dapat dilakukan di sekitar tempat terjadinya gangguan tidak meluas (Marsudi, 2005).

Salah satu permasalahan yang sering terjadi adalah pada sistem distribusi sisi penyulang 20 kV dimana gangguan tersebut diakibatkan dari adanya gangguan arus hubung singkat. Jika *setting* pengaman pada *outgoing feeder* kurang baik maka gangguan arus hubung singkat dapat memutuskan pengaman yang berada di *incoming feeder* sehingga dapat menyebabkan pemadaman di seluruh penyulang, dan apabila gangguan arus hubung singkat tidak bisa diatasi maka akan mengurangi kehandalan sistem, merusak peralatan, dan menurunkan kepercayaan konsumen yang dapat menyebabkan kerugian perusahaan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan untuk menunjukan tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan pada penyulang MJN 08 PT. PLN (Persero) Gardu Induk Majenang, di tunjukan pada Gambar 1.



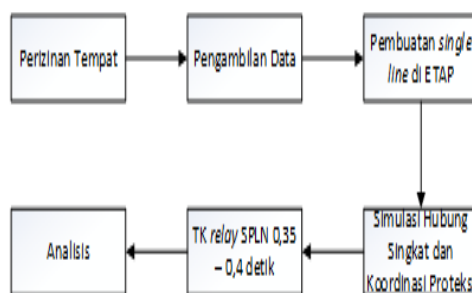
Gambar 1. Flowchart Penelitian

Penjelasan

1. Pengambil data di Gardu Induk Majenang dan UP3 cilacap, mengambil data transformator tenaga, data penghantar saluran tegangan menengah, data proteksi PMT dan *recloser*, data gangguan yang terjadi di penyulang MJN 08.
2. Menghitung secara manual perhitungan arus hubung singkat tiga fasa, dua fasa, dan satu fasa, setelah menghitung arus hubung singkat dan menghitung seting *over current relay* (OCR) dan *ground fault relay* (GFR)

3. Mensimulasikan gangguan hubung singkat tiga fasa, dua fasa dan satu fasa ke tanah dengan asumsi gangguan 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% dan 100% menggunakan *Software ETAP*.
4. Mensimulasikan waktu kerja koordinasi proteksi dari asumsi jarak gangguan 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% dan 100% menggunakan *Software ETAP*.
5. Membandingkan waktu kerja koordinasi proteksi sudah sesuai dengan SPLN 64 : 1985.

Berdasarkan studi kasus yang dihadapi, maka pada skripsi ini akan membahas tentang analisis koordinasi pengaman *over current relay*, *ground fault relay*, dan *recloser* pada jaringan 20 kV. Dalam pengambilan data sampai analisis hasil yang dilakukan melalui beberapa tahapan seperti Gambar 2.



Gambar 2. Flowchart Pengisi Baterai

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gardu Induk Majenang 150 kV terletak di Desa Cilopadang, kecamatan Majenang, merupakan salah satu Gardu Induk pasangan luar dengan tegangan 150/20 kV dimana tegangan sisi primer sebesar 150 kV dan tegangan sisi sekunder sebesar 20 kV. Pada penelitian ini penulis akan meneliti penyulang MJN 08 Gardu Induk Majenang yang terhubung dengan transformator III kapasitas 60 MVA.

Tabel 1. Data Spesifikasi Trafo III (Sumber : Gardu Induk Majenang)

Gardu Induk	Majenang
No. Trafo	III
Merk	Unindo
No.Serial	P060LEC 764-09
Tegangan	150/20kV
Frekuensi	50 Hz
Kapasitas	60 MVA
Arus Hubung Singkat 3 Fasa	13.493 kA
Arus Hubung Singkat 150kV	3505,6MVA
Arus Nominal Trafo	1732 A
Impedansi Urutan Positif/Negatif	0,1344 + j 0,3158
Impedansi Urutan Nol	0,3631 + j 1, 6180
Impedansi Trafo	12,23%
Jenis Pendingin	ON AN/ ONAF
Belitan Tarfo	YnYno+d
Tahun Operaso	2016
Pentanahan	Solid

Tabel 2. Data Spesifikasi Penghantar MJN 08 (Sumber : UP3 Cilacap)

Sumber Tenaga	Trafo III Majenang 60 MVA
Peralatan Proteksi Terpasang	1 PMT Outgoing dan 2 <i>recloser</i>
Panjang Penyulang	32,950 km
Jenis Kabel saluran	Aluminium AAAC 240 mm ²
Impedansi Saluran	Urutan Positif/negative : 0,1344+j0,3158 Urutan nol : 0,3631 + j1,6180

Tabel 3. Data Spesifikasi PMT (Sumber : UP3 Cilacap)

Merek PMT		<i>Schneider</i>	
Media peredam		SF 6	
Relay PMT			
<i>Over Current Relay</i>		<i>Ground Fault Relay</i>	
<i>Ratio CT</i>	600 / 5 A	<i>Ratio CT</i>	600 / 5 A
Kurva	SI	Kurva	SI
Tms	0,15	Tms	0,3
Iset primer	480A	Iset primer	200 A
Iset sekunder	3480 A	Iset sekunder	2598

Tabel 4. Data Spesifikasi *Recloser* 1 (Sumber : UP3 Cilacap)

Over Current Relay (OCR)		Ground Fault Relay (GFR)	
Merek	Schneider ADVC	Merek	Schneider ADVC
Ratio CT	1000/1	Ratio CT	1000/1
Kurva	IEC SI	Kurva	IEC SI
Tms	0,08	Tms	0,13
Iset primer	400 A	Iset primer	130 A
Iset sekunder	2400	Iset sekunder	1300

Tabel 5. Data Spesifikasi *Recloser* 2 (Sumber : UP3 Cilacap)

Over Current Relay (OCR)		Ground Fault Relay (GFR)	
Merek	ENTEC EVRC2A	Merek	ENTEC EVRC2A
Ratio CT	500/1	Ratio CT	500/1
Kurva	IEC SI	Kurva	IEC SI
Tms	0,05	Tms	0,1
Iset primer	360 A	Iset primer	110 A
Iset sekunder	1270 A	Iset sekunder	597 A

Pada penelitian ini perhitungan arus gangguan akan dihitung dengan asumsi jarak gangguan terjadi pada 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, dan 100% dari panjang penyulang. Pembagian asumsi gangguan berdasarkan letak dari PMT dan *recloser* sehingga nanti dapat diketahui bagaimana kerja dari PMT, *recloser* 1 dan *recloser* 2. Arus gangguan yang akan dihitung adalah arus gangguan hubungan singkat tiga fasa, dua fasa, dan satu fasa ke tanah.

Arus nominal pada sisi 150 kV

$$I_{n150 \text{ kV}} = \frac{MVA}{kV \cdot \sqrt{3}} = \frac{60.000}{150 \cdot \sqrt{3}} = 230,94 \text{ Ampere}$$

Arus nominal pada sisi 20 kV

$$I_{n20 \text{ kV}} = \frac{MVA}{kV \cdot \sqrt{3}} = \frac{60.000}{20 \cdot \sqrt{3}} = 1732,05 \text{ Ampere}$$

Reaktansi sumber pada sisi 150 kV

$$X_{s150 \text{ kV}} = \frac{kV^2}{MVA_{Hs}} = \frac{150^2}{3505,6} = 6,418 \text{ Ohm}$$

Reaktansi sumber pada sisi 20 kV

$$X_{s20 \text{ kV}} = \frac{kV^2}{MVA_{Hs}} = \frac{20^2}{3505,6} = 0,114 \text{ Ohm}$$

a. Impedansi Urutan Positif, Negatif

$$Z_1 = Z_2 = Z_{\text{positif}} \times \text{panjang penyulang} \quad Z_1 = Z_2 = (0,1344 + j0,3158) \Omega/\text{km} \times 32,950 \text{ km}$$

$$Z_1 = Z_2 = 4,428 + j10,405$$

Tabel 6. Nilai Impedansi Urutan Positif, Negatif

Jarak %	$Z1 = Z2$
10	10 % $(4,428 + j10,405) = 0,442 + j1,040$
20	20 % $(4,428 + j10,405) = 0,885 + j2,081$
30	30 % $(4,428 + j10,405) = 1,328 + j3,121$
40	40 % $(4,428 + j10,405) = 1,771 + j4,162$
50	50 % $(4,428 + j10,405) = 2,214 + j5,202$
60	60 % $(4,428 + j10,405) = 2,656 + j6,243$
70	70 % $(4,428 + j10,405) = 3,099 + j7,283$
80	80 % $(4,428 + j10,405) = 3,542 + j8,324$
90	90 % $(4,428 + j10,405) = 3,985 + j9,364$
100	100 % $(4,428 + j10,405) = 4,428 + j10,405$

b. Impedansi Urutan Nol

$$Z0 = Z \text{ urutan nol kabel} \times \text{jarak penyulang}$$

$$Z0 = (0,3631 + j1,6180) \Omega/\text{km} \times 32,950 \text{ km}$$

$$Z0 = 11,964 + j53,313$$
Tabel 7. Nilai Impedansi Urutan Nol

Jarak %	$Z0 \text{ (Ohm)}$
10	10% $(11,964 + j53,313) = 1,196 + j5,331$
20	20% $(11,964 + j53,313) = 2,392 + j10,662$
30	30% $(11,964 + j53,313) = 3,589 + j15,993$
40	40% $(11,964 + j53,313) = 4,785 + j21,325$
50	50% $(11,964 + j53,313) = 5,982 + j26,656$
60	60% $(11,964 + j53,313) = 7,178 + j31,987$
70	70% $(11,964 + j53,313) = 8,374 + j37,319$
80	80% $(11,964 + j53,313) = 9,571 + j42,650$
90	90% $(11,964 + j53,313) = 10,767 + j47,981$
100	100%. $(11,964 + j53,313) = 11,964 + j53,313$

a. Impedansi Ekuivalen Urutan Positif, Negatif

$$Z_{1,2eq} = Z + X_{s20kv} + X_{t1} = Z + j0,114 + j0,815$$
Tabel 8. Nilai Impedansi ekuivalen Urutan Positif, Negatif

Jarak %	$Z1eq = Z2eq \text{ (Ohm)}$
10	$(0,442 + j1,040) + j0,114 + j0,815 = (0,442 + j1,969) = 2,018$
20	$(0,885 + j2,081) + j0,114 + j0,815 = (0,885 + j3,01) = 3,137$
30	$(1,328 + j3,121) + j0,114 + j0,815 = (1,328 + j4,05) = 4,262$
40	$(1,771 + j4,162) + j0,114 + j0,815 = (1,771 + j5,091) = 5,390$
50	$(2,214 + j5,202) + j0,114 + j0,815 = (2,214 + j6,131) = 6,518$
60	$(2,656 + j6,243) + j0,114 + j0,815 = (2,656 + j7,172) = 7,648$
70	$(3,099 + j7,283) + j0,114 + j0,815 = (3,099 + j8,212) = 8,777$
80	$(3,542 + j8,324) + j0,114 + j0,815 = (3,542 + j9,253) = 9,907$
90	$(3,985 + j9,364) + j0,114 + j0,815 = (3,985 + j10,293) = 11,037$
100	$(4,428 + j10,405) + j0,114 + j0,815 = (4,428 + j11,364) = 12,196$

b. Impedansi Ekuivalen Urutan Nol

$$Z_{0eq} = Z_0 + X_{t1} = Z_0 + j0,815$$

$$Z_{0eq} = Z_0 + 3R_N + Z_{t0}$$

$$= 2,445 + (3 \times 0,15) + Z_0 \text{ penyulang}$$

$$= 2,445 + 0,45 + Z_0$$

Tabel 9. Nilai Ekuivalen Impedansi Urutan Nol

Jarak %	$Z_{0eq} = Z_0 + 3R_N + Z_{t0}$		
10	$1,196 + j5,331 + (0,45) + j2,445 = (1,646 + j7,776)$	=	7,948
20	$2,392 + j10,662 + (0,45) + j2,445 = (2,842 + j13,107)$	=	13,411
30	$3,589 + j15,993 + (0,45) + j2,445 = (4,039 + j18,438)$	=	18,874
40	$4,785 + j21,325 + (0,45) + j2,445 = (5,235 + j23,377)$	=	23,955
50	$5,982 + j26,656 + (0,45) + j2,445 = (6,432 + j29,101)$	=	29,803
60	$7,178 + j31,987 + (0,45) + j2,445 = (7,628 + j34,432)$	=	35,258
70	$8,374 + j36,319 + (0,45) + j2,445 = (8,824 + j38,764)$	=	39,755
80	$9,571 + j42,650 + (0,45) + j2,445 = (10,021 + j45,095)$	=	46,195
90	$10,767 + j47,981 + (0,45) + j2,445 = (11,217 + j50,426)$	=	51,658
100	$11,964 + j53,313 + (0,45) + j2,445 = (12,414 + j55,758)$	=	57,123

Setelah mendapatkan impedansi ekuivalen sesuai dengan lokasi gangguan, selanjutnya perhitungan arus gangguan hubung singkat dapat digitung dengan menggunakan rumus dasar seperti dijelaskan sebelumnya, hanya saja impedansi ekuivalen mana yang dimasukkan ke dalam rumus dasar tersebut adalah tergantung dari jenis gangguan hubung singkatnya, dimana gangguan hubung singkat tersebut bisa gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa atau 1 fasa ke tanah

Tabel 10. Arus Hubung Singkat 3 Fasa

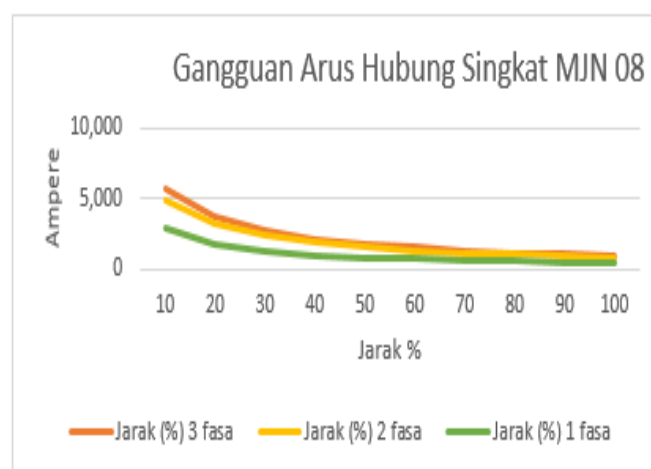
Jarak (%)	Rumus	Z_{eq} positif negatif (Ohm)	I_{hsc} 3 Fasa (A)
10		2,018	5722,001
20		3,137	3680,905
30		4,262	2709,291
40		5,390	2142,300
50	$I_{hsc} \text{ 3 Fasa} = \frac{11547}{Z_{eq} \text{ positif}}$	6,518	1771,555
60		7,648	1509,806
70		8,777	1315,597
80		9,907	1165,539
90		11,037	1046,208
100		12,196	946,785

Tabel 11. Arus Hubung Singkat 2 Fasa

Jarak (%)	Rumus	Zeq positif negatif (Ohm)	Ihsc 2 Fasa (A)
10		2,018	4955,401
20		3,137	3187,759
30		4,262	2346,316
40	$I_{hsc2 \text{ Fasa}} = \frac{20000}{Z_{eq \text{ positif}} + Z_{eq \text{ negatif}}}$	5,390	1855,287
50		6,518	1534,212
60		7,648	1307,531
70		8,777	1139,341
80		9,907	1009,998
90		11,037	906,043
100		12,196	819,940

Tabel 12. Arus Hubung Singkat 1 Fasa

Jarak (%)	Rumus	Zeq positif negatif (Ohm)	Zeq nol (Ohm)	Ihsc 1 Fasa (A)
10		2,018	7,948	2890,604
20		3,137	13,411	1759,766
30		4,262	18,874	1264,362
40	$I_{hsc \text{ 1 Fasa}} = 3 \times \left(\frac{20000 / \sqrt{3}}{Z_{eq \text{ positif}} + Z_{eq \text{ negatif}} + Z_{eq \text{ nol}}} \right)$	5,390	23,955	997,293
50		6,518	29,803	808,632
60		7,648	35,258	685,227
70		8,777	39,755	604,460
80		9,907	46,195	524,792
90		11,037	51,658	459,823
100		12,196	57,123	424,964

Analisis Arus Hubung Singkat**Gambar 3.** Grafik Arus Hubung Singkat

Pada arus hubung singkat tiga fasa jarak asumsi gangguan 10% didapat nilai arus hubung singkat 5722 A, jarak 50% di dapat 1771 A dan pada jarak 100% nilai arus hubung singkatnya 946 A. Begitu pula pada arus hubung singkat dua fasa dan satu fasa ke tanah. nilai arus hubung singkat dari hasil perhitungan pada penyulang MJN 08, dapat disimpulkan bahwa semakin jauh jarak titik gangguan maka nilai arus hubung singkat akan semakin kecil.

Hasil untuk mengetahui koordinasi OCR (*Over current relay*) tiga fasa, maka dari itu akan dilakukan mencari selisih waktu kerja dari kedua OCR pada asumsi jarak gangguan (10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% dan 100%). Pada asumsi jarak gangguan 10% - 30% wilayah kerja PMT, pada asumsi jarak gangguan 40% - 60% masuk wilayah kerja *Recloser* 1 dan asumsi jarak gangguan 70% - 100% wilayah kerja *Recloser* 2.

Tabel 13. Perbandingan Arus Hubung Singkat (I_{hc}) Perhitungan dan Simulasi koordinasi

Jarak (%)	Arus Hubung Singkat (A)		
	3 Fasa	2 Fasa	1 Fasa
10	5722,001	4955,401	2890,604
20	3680,905	3187,759	1759,766
30	2709,291	2346,316	1264,362
40	2142,300	1855,287	997,293
50	1771,555	1534,212	808,632
60	1509,806	1307,531	685,227
70	1315,597	1139,341	604,460
80	1165,539	1009,998	524,792
90	1046,208	906,043	459,823
100	946,785	819,940	424,964

Dapat kita lihat pada Tabel 13 perbandingan antara nilai gangguan arus hubung singkat perhitungan dan simulasi koordinasi. Nilai keduanya saling berbeda, hal ini dapat terjadi karena perhitungan yang digunakan manual dan simulasi dengan *software ETAP* memiliki metode pembulatan angka yang berbeda, sehingga akan ada perbedaan hasil hitung.

Tabel 14. Perbandingan Waktu Kerja Perhitungan dan Simulasi Koordinasi Proteksi

Jarak (%)	3 Fasa		2 Fasa		1 Fasa	
	Hitung (detik)	Simulasi (detik)	Hitung (detik)	Simulasi (detik)	Hitung (detik)	Simulasi (detik)
10	0,413	0,415	0,439	0,421	0,765	0,706
20	0,505	0,507	0,544	0,516	0,944	0,878
30	0,596	0,599	0,651	0,612	1,117	1,038
40	0,363	0,365	0,407	0,375	0,849	0,789
50	0,423	0,425	0,482	0,439	0,994	0,911
60	0,489	0,493	0,331	0,511	1,146	1,018
70	0,301	0,303	0,675	0,319	0,892	0,787
80	0,361	0,364	0,467	0,387	1,072	0,918
90	0,436	0,441	0,589	0,473	1,309	1,068
100	0,534	0,536	0,755	0,582	1,496	1,243

Pada Tabel 14 dari hasil waktu kerja koordinasi antar relai perbandingan nilai arus hubung singkat tiga fasa dan dua fasa perhitungan dan simulasi koordinasi. Nilai keduanya saling berbeda, karena perhitungan yang digunakan menggunakan perhitungan manual dan simulasi dengan *software ETAP* memiliki metode pembulatan angka yang berbeda, sehingga akan ada perbedaan dari hasil nilai yang di dapat, dari perbedaan perhitungan dan simulasi yang didapat tidak terlalu berbeda jauh.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data dan simulasi kerja koordinasi proteksi dengan menggunakan *software ETAP* pada jaringan distribusi di Gardu Induk Majenang 150 kV yang khususnya pada penyulang (*feeder*) MJN 08, maka dapat ditarik kesimpulan;

1. Untuk mengetahui nilai arus hubung singkat, langkah yang dilakukan adalah menghitung arus nominal trafo, menghitung reaktansi sumber, menghitung reaktansi trafo, menghitung impedansi saluran penyulang, kemudian menghitung arus hubung singkat
2. Nilai arus gangguan hubung singkat pada jaringan dipengaruhi oleh jarak titik gangguan, semakin dekat jarak pada titik gangguan maka semakin besar pula arus gangguan hubung singkatnya, begitu pula sebaliknya, semakin jauh titik gangguan pada jaringan maka semakin kecil arus gangguannya.
3. Pada simulasi dengan *software ETAP* penyulang MJN 08 Arus hubung singkat terbesar yaitu pada titik gangguan jarak 10 %, arus hubung singkat 3 fasa sebesar 5,67 kA, arus hubung singkat 2 fasa sebesar 5,48 kA, dan arus hubung singkat 1 fasa ke tanah sebesar 3,67 kA.
4. Dari penelitian yang di lakukan pada penyulang MJN 08 bahwa waktu kerja koordinasi antar relai OCR arus hubung singkat 3 fasa dan 2 fasa, sudah hampir mendekati dengan standar SPLN yaitu 0,35 detik – 0,4 detik. Tapi masih lebih lambat 0,1 detik.
5. Pada perhitungan dan simulasi koordinasi waktu kerja relai GFR arus hubung singkat 1 fasa ke tanah yang di lakukan belum sesuai dengan standar SPLN.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Budi utomo, Heri 2004. *Modul Perkuliahan : Proteksi Penyulang Tegangan Menengah*. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.
- [2] Marsudi, Djiteng. 2005. *Pembangkitan Energi Listrik*. Jakarta: Erlangga.
- [3] Pandjaitan, Bonar. 2012. *Praktik-praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: CV Andi Offset.
- [4] SPLN 64:1985, *Petunjuk Pemilihan dan Penggunaan Pelebur pada Sistem Distribusi Tegangan Menengah*. Jakarta: PT. PLN (Persero).
- [5] Yusmartato, yusniati. 2016. *Analisis Relai Arus Lebih Dan Relai Gangguan Tanah Pada Penyulang LM5 DI Gardu Induk Lamhotma*. Medan: Universitas Islam Sumatra Utara.